

Желонкин Д. А., аспирант
Завада А. А., аспирант
Породнов Б. Т., проф., д-р физ. -мат. наук

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ В ФОРМИРОВАТЕЛЕ ГАЗОВОГО ПОТОКА

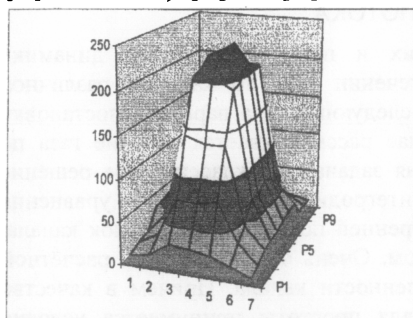
Одной из основных теоретических и прикладных задач динамики разреженного газа является задача о течении газа по каналам различной геометрии. Наиболее часто встречаются следующие два варианта постановки граничных условий. Так, в первом случае рассматривается течение газа по прямоугольному каналу (осесимметричная задача). Её классическое решение связано с численным методом решения интегродифференциального уравнения для частоты столкновений частиц с внутренней поверхностью стенок канала, предложенным Клаузингом и де Маркусом. Очень часто основной расчётной величиной выступает диаграмма направленности канала. Причем в качестве граничных условий на торцах канала для простоты принимается условие испарения частиц с равновесной максвелловской функцией распределения по скоростям во входном сечении и равновесного поглощения молекул в выходном сечении канала, что, вообще говоря, является достаточно существенным допущением и справедливым только для малых градиентов давления и достаточно длинных каналов.

Постановка в общем случае трёхмерной задачи об истечении газа из прямоугольного канала конечной длины и ширины с учётом концевых эффектов в отличие от традиционной приводит к большим математическим сложностям. Поэтому такую задачу часто сводят к решению трехмерной задачи о течении газа по прямоугольному каналу с заданной геометрией. Изменение профиля макроскопической скорости будет иметь место по всем трём направлениям). Ниже рассматривается истечение газа из прямоугольного канала конечных размеров в вакуум с учётом концевых эффектов на входе и выходе из каналов.

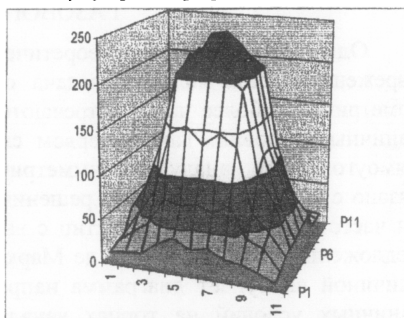
Рассмотрим течение газа в прямоугольном канале. Граничные условия в этом случае можно представить следующим образом. Большой объём разделён на две области непроницаемой перегородкой, в которой имеется прямоугольное отверстие длиной l (в направлении потока газа), шириной b и высотой a (рис. 1). Слева от перегородки (зона 1) находится разреженный газ с числовой плотностью n_1 , давлением P_1 и температурой T_1 , а справа (зона 3) – содержится газ с плотностью, давлением и температурой, равными $n_2 = 0$, $P_2 = 0$, $T_2 = 0$ соответственно. Размеры зон влияния 1 и 3 равны: длина по потоку l_1 и l_3 , ширина b_1 и b_3 , высота a_1 и a_3 . В начальный момент времени отверстие канала закрыто. Газ слева от канала находится в равновесном состоянии и описывается локально максвелловской функцией распределения по скоростям с соответствующей температурой T .

На рисунке представлены пространственные распределения плотности $I(x,y)$ модельных частиц на подложке, расположенной за выходным сечением прямоугольного канала. Плотность $I(x,y)$ представляет собой число осевших

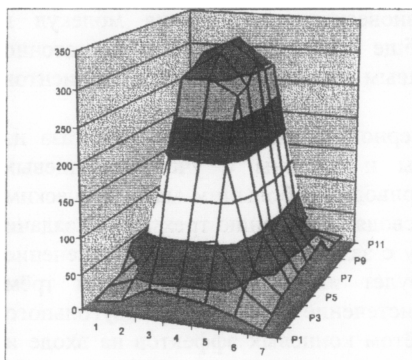
модельных частиц за время наблюдения на площадь ячейки с координатами (x,y) сразу за выходным сечением канала (в плоскости эпитаксии). Было рассмотрено четыре различных случая для двух прямоугольных каналов при двух значениях числа Кнудсена Kn : а) $l_2/a_2=3$, $b_2/a_2=7/10$, $Kn=1$; б) $l_2/a_2=3$, $b_2/a_2=1$, $Kn=1$; в) $l_2/a_2=3$, $b_2/a_2=7/10$, $Kn=100$; д) $l_2/a_2=3$, $b_2/a_2=1$, $Kn=100$.



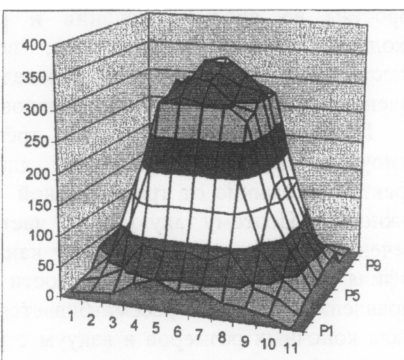
а



б



в



г

Распределение плотности частиц в плоскости эпитаксии

Из рисунка можно наблюдать, что при переходе от промежуточного ($Kn=1$) до свободномолекулярного ($Kn=100$) режимов течения происходит изменение плотности потока $I(x,y)$ в сторону его увеличения, при этом вид пространственного распределения существенно не меняется.